

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนและให้น้ำชลประทานในบางแหล่งปลูกที่สำคัญ

Sugarcane Water Footprint under Rainfed and Irrigation Conditions of Some Major Production Areas

ปรีชา กาเพชร^{1/} ดาวรุ่ง คงเทียน^{2/} มัทนา วานิชย์^{3/} พิกุล ชุนพุ่ม^{4/} ดารารัตน์ มณีจันทร์^{5/}
พินิจ กัลยาศิลป์^{6/} วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน^{7/}

Preecha Kapetch^{1/} Doarung Kongtien^{2/} Mattana Wanitch^{3/} Phikun Sunphum^{4/}
Dararat Maneejan^{5/} Phinit Kalayasilapin^{6/} Vichanee Ormzubsin^{7/}

Received 22 March 2020/Revised 13 June 2020/Accepted 15 October 2020

ABSTRACT

Sugarcane production needs high volume of water to obtain satisfactory yield. Climate change and increasing of planting area resulted in increased water demand for sugarcane production. Water footprint of sugarcane was thus evaluated so that the information could be used to improve its water use efficiency. The study was conducted by collecting information on weather data ,field management practices and yield from farmers' fields in some major production areas, Altogether 119 samples were taken from rainfed fields and 54 samples from irrigated fields during 2015-2017.. After that, the water footprint was estimated according to “The Water Footprint Assessment Manual”. Results showed that the average of sugarcane water footprint for rainfed condition was $95.1 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ which could be further divided into WF_{Green} and WF_{Grey} with 69.6 and $25.6 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, respectively. For irrigated condition, the water footprint showed $117.7 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ which could be further divided into WF_{Green} , WF_{Blue} and WF_{Grey} with 58.5, 37.5 and $21.7 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, respectively. Under the irrigated condition, the WF_{Blue} had increased by the average of $37.5 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ while sugarcane yield showed relatively smaller increase ($1.4 \text{ t} \cdot \text{rai}^{-1}$). In order to improve the water use efficiency of sugarcane under

1/ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครสวรรค์ อ.ตากฟ้า จ.นครสวรรค์ 60190

1/ Nakhon Sawan Agricultural Research and Development Center, Tak Fa, Nakhon Sawan 60190 Thailand

2/ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรราชบุรี อ.โพธาราม จ.ราชบุรี 70120

2/ Ratchaburi Agricultural Research and Development Center, Photharam, Ratchaburi. 70120 Thailand

3/ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

3/ Khon Kaen Field Crops Research Center, Mueang, Khon kaen, 40000 Thailand

4/ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร อ.เมือง จ.มุกดาหาร 49000

4/ Mukdahan Agricultural Research and Development Center, Mueang, Mukdahan 49000 Thailand

5/ สถาบันวิทยาศาสตร์ข้าวแห่งชาติ อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี 72000

5/ Thailand Rice Science Institute, Mueang, Suphan Buri 72000 Thailand

6/ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรจันทบุรี อ.มะขาม จ.จันทบุรี 22150

6/ Chanthaburi Agricultural Research and Development Center, Makham, Chanthaburi. 22150 Thailand

7/ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี 84160

7/ Surat Thani Oil Plam Research Center, Kanchanadit, Surat Thani. 84160 Thailand

*Corresponding author: p.kapetch@gmail.com

irrigation system, the cultivars and their water requirement should be taken into consideration.

Keywords: sugarcane, water footprint, green water footprint, blue water footprint, grey water footprint

บทคัดย่อ

การผลิตอ้อยมีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก จากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศรวมถึงพื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงได้ประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเพื่อการวางแผนการใช้น้ำที่มีอยู่สำหรับการผลิตอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ ดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตอ้อยในสภาพการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน จำนวน 119 แปลง และการปลูกแบบให้น้ำชลประทาน จำนวน 54 แปลง ในพื้นที่ปลูก 13 จังหวัด ที่เป็นแหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญของประเทศไทย ระหว่างปี 2558-2560 บันทึกข้อมูลวันปลูก วันเก็บเกี่ยว การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และผลผลิต แล้วนำมาใช้คำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามคู่มือการประเมินร่องรอยการใช้น้ำ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนมีค่าเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น WFGreen และ WFGrey จำนวน 69.6 และ 25.6 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนสภาพให้น้ำชลประทานมีค่าเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน แยกเป็น WFGreen WFGrey และ WFGrey จำนวน 58.5 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ การปลูกแบบให้น้ำชลประทานทำให้อ้อยฟุตพริ้นท์สีฟ้า (WFGrey) เพิ่มขึ้น 37.5 ลบ.ม./ตัน แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นเพียง 1.4 ตัน/ไร่ ดังนั้น การพิจารณาการให้น้ำแก้อ้อยจึงต้องคำนึงถึงพื้นที่ปลูก และให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้การใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: อ้อย วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเขียว วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีฟ้า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สีเทา

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศประมาณ 10 ล้านไร่ กระจายอยู่ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก (นิรนาม, 2560) และมีแนวโน้มพื้นที่ปลูกจะเพิ่มขึ้นจากนโยบายของรัฐบาลที่จะปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกข้าวที่ไม่เหมาะสมมาปลูกอ้อยทดแทน พื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมดปลูกอยู่บนชุดดินมากกว่า 200 ชุดดิน และมีสภาพอากาศที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 800-2,400 มม./ปี เนื่องจากสภาพแวดล้อมมีหลากหลายไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้การจัดการมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิสังคมและทุนทรัพย์ โดยเฉพาะการจัดการเรื่องน้ำถือเป็น 1 ใน 17 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals; SDG) เนื่องจากส่งผลกระทบต่อประชาชนทั่วโลกมากกว่า 40% และมียุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง คือ การสร้างความมั่นคงของน้ำต่อภาคการผลิต ทั้งภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตร (นิรนาม, 2561) ดังนั้นในระบบการผลิตอ้อยวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการคำนวณการใช้น้ำของอ้อยได้ คือ การคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (water footprint ; WF) ซึ่งมีการคำนวณผลรวมของการใช้น้ำจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แหล่งน้ำจากธรรมชาติ เช่น น้ำฝนและความชื้นในดิน (green water footprint: WF_{Green}) แหล่งน้ำชลประทาน (blue water footprint: WF_{Blue}) และน้ำที่ใช้บำบัดของเสียจากการใช้ปุ๋ยเคมี (grey water footprint: WF_{Grey}) จากรายงานของ Gerbens-Leenes and Hoekstra *et al.* (2012) พบว่า ค่าเฉลี่ยของการใช้น้ำสำหรับผลิตอ้อยมีขนาด 209 ลบ.ม./ตัน ขณะที่ Ratchayuda and Sate (2012) พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยที่ปลูก

ในภาคเหนือของประเทศไทยมีขนาด 226 ลบ.ม./ต้น และการศึกษาของเฉษฐา (2553) พบว่า ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อ้อยต้องการน้ำประมาณ 120 ลบ.ม./ต้น หรือคิดเป็นปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด 12,000 ล้านลบ.ม./ฤดูปลูก (คำนวณที่ผลผลิตอ้อย 100 ล้านตัน/ปี) ในขณะที่ประเทศไทยมีแนวโน้มผลผลิตอ้อยเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโรงงานน้ำตาล แต่การศึกษาการใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยในประเทศไทยยังไม่ครอบคลุมทั้งระบบการผลิต เช่น การศึกษาในสภาพให้น้ำชลประทาน หรือศึกษาในสภาพอาศัยน้ำฝน ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาทั้งสองสภาพแล้วแต่เป็นการวิเคราะห์ในสถานการณ์ที่ต่างสถานที่และต่างเวลา กัน ทำให้ผลที่ได้มีความแปรปรวนสูง จึงควรมีการศึกษาหาปริมาณน้ำสำหรับการผลิตอ้อยให้กว้างขวาง การศึกษานี้ได้ทำการประเมินค่าอวอเตอร์พัตพรินท์ของอ้อยในแหล่งปลูกที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งภายใต้สภาพการผลิตแบบอาศัยน้ำฝนและการให้น้ำชลประทาน ระหว่างปี 2558-2560 เพื่อหาค่าอวอเตอร์พัตพรินท์ของอ้อย สำหรับนำไปใช้ในการวางแผนการใช้น้ำในกระบวนการผลิตอ้อยให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. พื้นที่ปลูกอ้อยและการเก็บข้อมูล

1.1 การปลูกอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝน

การเก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยในแปลงทดลอง (crop cut) ที่ดำเนินการในไร่เกษตรกร 13 จังหวัด จำนวน 119 แปลง ที่มีความแตกต่างกันของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 800-1800 มม./ปี ได้แก่ จ.นครสวรรค์ 16 แปลง จ.นครราชสีมา 14 แปลง จ.กาญจนบุรี ขอนแก่น ปราจีนบุรี มุกดาหาร เลย และกาฬสินธุ์ จังหวัดละ 9 แปลง และจ.สุโขทัย บุรีรัมย์ อุทัยธานี สุพรรณบุรี และมหาสารคาม จังหวัดละ 7 แปลง สุ่มเก็บผลผลิตพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 แถว แถวยาว 5 ม. จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลวันปลูก การใส่ปุ๋ย วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต และข้อมูล

สภาพภูมิอากาศจากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศที่อยู่ในแปลงทดลอง หรือสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงเก็บข้อมูล

1.2 การปลูกอ้อยในสภาพให้น้ำชลประทาน

การปลูกอ้อยในสภาพให้น้ำชลประทาน ดำเนินการปลูกและเก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยในแปลงทดลองของศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชไร่นอนแก่น ศูนย์วิจัยพืชสวนเลย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมุกดาหาร ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ศูนย์ละ 9 แปลง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรบุรีรัมย์ ศูนย์ละ 3 แปลง รวม 60 แปลง ปลูกอ้อยจำนวน 3 พันธุ์ ได้แก่ KK07-037, 95-2-213 และ K95-84 จำนวน 3 วันปลูก ได้แก่ วันปลูกที่ 1 ช่วงเดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม 2558 วันปลูกที่ 2 ช่วงเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ 2559 และวันปลูกที่ 3 ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2559 ยกเว้นแปลงทดลองที่ จ.สุโขทัย และ จ.บุรีรัมย์ ปลูกครั้งเดียวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559-มกราคม 2560 เก็บผลผลิตอ้อยในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม ของปีถัดไป ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ให้น้ำแบบสปริงค์เกอร์ ปริมาณ 24 มม. ทุก ๆ 14 วัน เก็บข้อมูลผลผลิตอ้อยโดยการสุ่มเก็บผลผลิตพื้นที่เก็บเกี่ยว 3 แถว แถวยาว 5 ม. จำนวน 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลวันปลูก การให้น้ำ วันเก็บเกี่ยว ผลผลิต และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากเครื่องตรวจวัดสภาพอากาศที่อยู่ในแปลงทดลอง หรือสถานีตรวจวัดสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียงกับแปลงเก็บข้อมูล

2. การประเมินค่าอวอเตอร์พัตพรินท์ของอ้อย

ประเมินค่าอวอเตอร์พัตพรินท์ของอ้อยในกระบวนการผลิตอ้อยตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยประเมินตามคู่มือของ Hoekstra et al. (2011) จากความต้องการน้ำ 3 ประเภท คือ

1) Green water footprint เป็นความต้องการน้ำในส่วนของคุณภาพน้ำฝนที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่พืชเอาไปใช้ 2) Blue water footprint เป็นความต้องการน้ำในส่วนของคุณภาพน้ำธรรมชาติ ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ใช้ในการชลประทาน และ

3) Grey water footprint เป็นปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการเจือจางสารมลพิษที่ปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำให้เป็นน้ำดีตามมาตรฐาน ค่าแอมเตอร์ฟุตพริ้นท์คำนวณได้ตามสมการ 1-4

$$WF_{Green} = \frac{CWR_{Green}}{Y} \quad (\text{ลบ.ม./ตัน}) \quad (1)$$

$$WF_{Blue} = \frac{CWR_{Blue}}{Y} \quad (\text{ลบ.ม./ตัน}) \quad (2)$$

$$WF_{Grey} = \frac{(\alpha \times AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (\text{ลบ.ม./ตัน}) \quad (3)$$

$$WF = WF_{Green} + WF_{Blue} + WF_{Grey} \quad (\text{ลบ.ม./ตัน}) \quad (4)$$

โดยที่ CWR คือ ปริมาณน้ำที่อ้อยต้องการใช้ (ลบ.ม./ไร่)

CWR_{Green} มีค่าเท่ากับ CWR เมื่อปริมาณน้ำฝนใช้การ (P_{eff}) มีค่ามากกว่า CWR และจะมีค่าเท่ากับ P_{eff} เมื่อ P_{eff} มีค่าน้อยกว่า CWR

CWR_{Blue} มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ P_{eff} มีค่ามากกว่า CWR และจะมีค่าเท่ากับ $CWR - P_{eff}$ เมื่อ P_{eff} มีค่าน้อยกว่า CWR

โดยคิดปริมาณการใช้น้ำฝน (P_{eff}) เท่ากับ 80 % ของปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ ดัดแปลงจากการคำนวณฝนใช้การรายเดือนของกรมชลประทาน (นิรนาม, 2554)

Y คือ ผลผลิตต่อพื้นที่ (ตัน/ไร่)

AR คือ อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในพื้นที่เพาะปลูก (กก./ไร่)

α คือ สัดส่วนของปุ๋ยไนโตรเจนจากการชะละลาย มีค่า 10 เปอร์เซนต์ของอัตราการใช้ปุ๋ย (Chapagain *et al.*, 2006)

C_{max} คือ ความเข้มข้นมากที่สุดที่ยอมรับได้ (กก./ลบ.ม.) และ C_{nat} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในธรรมชาติที่พิจารณา (กก./ลบ.ม.) โดยใช้ค่า C_{max} 0.005 กก./ลบ.ม. และ C_{nat} 0 กก./ลบ.ม. (Hoekstra *et al.*, 2011)

ในส่วนของคุณภาพน้ำที่อ้อยต้องการใช้ (CWR) คำนวณได้ตามสมการที่ 5-6

$$CWR = \sum ET_c \quad (\text{ลบ.ม./ไร่}) \quad (5)$$

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{ลบ.ม./ไร่/วัน}) \quad (6)$$

เมื่อ ET_c = ปริมาณน้ำที่ต้องการคายระเหยภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว (ลบ.ม./ไร่/วัน),

ET_o = การคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (ลบ.ม./ไร่/วัน)

ในการศึกษาคั้งนี้คำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงตามสมการของ Modifiy Penman- Monteith (Allen et al., 1998) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (K_c) ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 (กอบเกียรติและคณะ, 2555) เป็นตัวแทน

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การปลูกอ้อยในพื้นที่ปลูกต่าง ๆ

การปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝนส่วนใหญ่ปลูกพันธุ์ ขอนแก่น 3 (KK3) และแอลเค 92-11 (LK 92-11) และ จ. สุพรรณบุรี นอกจากปลูกทั้งสองพันธุ์ดังกล่าวแล้วยังมีการปลูกพันธุ์อุทอง 10 (U-Thong 10) และอุทอง 12 (U-Thong 12) ส่วนการปลูกในสภาพให้น้ำชลประทานใช้พันธุ์ KK07-037, 95-2-213, KK07-050 และ K95-84 มีช่วงเวลาการปลูกที่ค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2558 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2559 และปลูกช้าที่สุดในเดือนสิงหาคม 2559 ที่ จ.กาญจนบุรี แต่ทั้งหมดเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูเปิดหีบของโรงงานน้ำตาล ช่วงเวลาการปลูกที่ไม่พร้อมกันทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการคำนวณค่า green water footprint มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างสูง อยู่ระหว่าง 217-904 มม. (Table 1) ในส่วนของการใช้ปุ๋ยเคมีที่เกี่ยวข้องกับค่า blue water footprint พบว่า มีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกันในแต่ละแหล่งการผลิต มีค่าระหว่าง 7.5-22.0 กก.ไนโตรเจน/ไร่ (Table 2)

2. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝน

ผลผลิตอ้อย 119 แปลง เฉลี่ย 15.9 ตัน/ไร่ โดย จ.นครสวรรค์ มีค่าเฉลี่ยของผลผลิตสูงที่สุด 21.6 ตัน/ไร่ แต่มีค่าความแปรปรวนค่อนข้างสูง 8.0 ตัน/ไร่ เนื่องจากมีช่วงวันปลูกที่กว้าง ตั้งแต่พฤศจิกายน 2558 จนถึงเมษายน 2559 ในแปลงที่ปลูกช้าและการจัดการแปลงไม่ดี ผลผลิตต่ำมาก 5.0 ตัน/ไร่ ในขณะที่แปลงที่ปลูกเร็วได้รับผลผลิตสูง 35.3 ตัน/ไร่ ในทำนองเดียวกันใน จ.สุพรรณบุรี

ผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 38.8 ตัน/ไร่ เพราะมีการจัดการแปลงที่ดี ปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 ซึ่งมีศักยภาพในการให้ผลผลิตสูง แต่ค่าเฉลี่ยของจังหวัด 19.6 ตัน/ไร่ และมีความแปรปรวนของผลผลิตสูง 8.1 ตัน/ไร่ เพราะมีการใช้พันธุ์ที่หลากหลาย ในกลุ่มของผลผลิตต่ำ พบว่า มีสาเหตุแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ เช่น จ.กาญจนบุรีมีสาเหตุมาจากการปลูกช้า (เดือนสิงหาคม) ได้ผลผลิต 4.4 ตัน/ไร่ จ.กาฬสินธุ์ พบว่า มีการกำจัดวัชพืชไม่ทันเวลา ได้ผลผลิต 8.0 ตัน/ไร่ จ.มหาสารคาม และ จ.บุรีรัมย์ ในแปลงที่ได้ผลผลิตต่ำ พบว่า มีการใช้ปุ๋ยในอัตราที่ต่ำกว่าแปลงที่ได้รับผลผลิตสูง (12.3 และ 12.7 ตัน/ไร่ ตามลำดับ) (Table 3) ซึ่งผลผลิตอ้อยเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อย ในการศึกษานี้ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น green water footprint และ grey water footprint เฉลี่ย 69.6 และ 25.6 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Table 4) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีค่าต่ำกว่าค่อนข้างมาก เช่น การศึกษาของ สานิตย์ดาและคณะ (2555) พบว่า ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 192 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 10.1 ตัน/ไร่ Rattikarn and Sate (2012) ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยเฉลี่ย 202 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 11.0 ตัน/ไร่ และ Khanittha et al. (2017) ได้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในช่วงปี 2556-2557 เฉลี่ย 178 ลบ.ม./ตัน จากผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 11.0 ตัน/ไร่ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อผลผลิตสูงขึ้นทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำลงได้

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอ้อยในสภาพให้น้ำชลประทาน

ผลผลิตอ้อยในการปลูกแบบให้น้ำชลประทานเฉลี่ย 17.3 ตัน/ไร่ มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง 6.8 ตัน/ไร่ เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดจากการปลูกอ้อย 3 พันธุ์และ 3 วันปลูก พบว่า จ.นครสวรรค์ มีผลผลิตเฉลี่ยสูงที่สุด 32.5 ตัน/ไร่ จ.เลยเฉลี่ย 11.3 ตัน/ไร่ แสดงให้เห็นถึง

Table 1 Sugarcane cultivars, planting date, harvesting date, and rainfall accumulation for sugarcane production in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Cultivars	Planting date	Harvesting date	Rainfall accumulation
				during production (mm.)
Nakhon Sawan	KK3, KK07-037, K95-84, 95-2-213	Nov. 2015-Apr.2016	Jan. 2017-Apr. 2017	506-825
Khon Kaen	KK07-037, K95-84, 95-2-213	Nov. 2015-Apr.2016	Jan. 2017-Apr. 2017	476-558
Loei	KK07-037, K95-84, 95-2-213	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	305-606
Kanchanaburi	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Oct.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	217-531
Prachin Buri	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar 2017	455-616
Mukdahan	KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Dec. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar 2017	470-538
Sukhothai	KK3, KK07-037, K95-84, 95-2-213, KK07-050	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar 2017	612-685
Buri Ram	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	792-844
Kalasin	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	730-882
Maha Sarakhm	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Dec.2015	Jan. 2017-Mar. 2017	668-789
Uthai Thani	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	693-904
Suphan Buri	KK3, U-Thong 10, LK92-11, U-thong 12	Nov. 2015-Mar.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	542-645
Nakhon Ratchasima	KK3, LK92-11	Nov. 2015-Jan.2016	Jan. 2017-Mar. 2017	680-772

ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อผลผลิต (Table 5) ด้านพันธุ์เมื่อเฉลี่ยจากแต่ละแหล่งปลูกกับทุกวันปลูก พบว่า ได้ผลผลิตใกล้เคียงกัน 18.2 17.6 และ 16.8 ตัน/ไร่ สำหรับพันธุ์ KK07-037 95-2-213 และ K95-84 ตามลำดับ (Table 6) และเมื่อพิจารณาจากวันปลูก พบว่า ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 พันธุ์ จากทุกแหล่งปลูก วันปลูกที่ 1 คือ ปลูกในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม ให้ผลผลิตสูงที่สุดเฉลี่ย 23.0 ตัน/ไร่ วันปลูกที่ 2 ปลูกช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ได้ผลผลิตเฉลี่ย 15.8 ตัน/ไร่ และวันปลูกที่ 3 ปลูก

ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ได้ผลผลิตเฉลี่ยต่ำที่สุด 13.8 ตัน/ไร่ (Table 7) ผลผลิตสูงที่สุดมาจากการใช้พันธุ์ KK07-037 ปลูกวันปลูกที่ 1 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ส่วนผลผลิตต่ำสุดมาจากพันธุ์ K95-84 ปลูกในวันปลูกที่ 3 ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ความหลากหลายของสภาพแวดล้อมและการจัดการแปลงปลูกอ้อยทำให้ผลผลิตมีความแปรปรวนสูง ในขณะที่ จ.สุโขทัย และ จ.บุรีรัมย์ มีความแปรปรวนน้อยมาก เนื่องมาจากมีการปลูกอ้อยวันปลูกเดียว ทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน

Table 2 Total fertilizer application and nitrogen leaching to water body of sugarcane in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total fertilizer application (kg.rai ⁻¹)			Nitrogen leaching (kg.rai ⁻¹)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Nakhon Sawan	18.1	14.8	12.3	1.8
Khon Kaen	15.0	15.0	15.0	1.5
Loei	15.0	15.0	15.0	1.5
Kanchanaburi	18.0	9.0	18.0	1.8
Prachin Buri	18.0	9.0	18.0	1.8
Mukdahan	7.5	7.5	7.5	0.8
Sukhothai	20.5	13.1	10.4	2.0
Buriram	23.2	11.3	13.4	2.3
Kalasin	20.8	10.7	8.9	2.1
Maha Sarakham	14.3	13.0	10.1	1.4
Uthai Thani	19.6	9.5	4.0	2.0
Suphan Buri	18.8	7.5	10.2	1.9
Nakhon Ratchasima	22.0	10.8	10.3	2.2

Table 3 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Maximum yield (t.rai ⁻¹)	Minimum yield (t.rai ⁻¹)	Average yield (t.rai ⁻¹)	Standard deviation (t.rai ⁻¹)
Nakhon Sawan	35.3	5.0	21.6	8.0
Khon Kaen	15.1	9.1	11.7	2.1
Loei	23.4	6.0	15.6	6.6
Kanchanaburi	17.3	4.4	11.2	4.4
Prachin Buri	22.5	8.2	15.6	4.6
Mukdahan	22.6	9.0	15.7	3.9
Sukhothai	17.4	13.4	15.3	1.4
Buri Ram	22.2	12.7	17.8	3.0
Kalasin	18.0	8.0	12.7	3.8
Maha Sarakham	22.0	12.3	17.3	2.9
Uthai Thani	19.6	10.9	15.4	2.8
Suphan Buri	38.8	13.1	19.6	8.1
Nakhon Ratchasima	25.6	14.0	17.4	3.7

Table 4 The water footprint of sugarcane production under rainfed condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total WF (m ³ .t ⁻¹)	WF _{Green} (m ³ .t ⁻¹)	WF _{Grey} (m ³ .t ⁻¹)
Nakhon Sawan	82.1	62.1	20.0
Khon Kaen	98.1	71.8	26.3
Loei	96.3	71.0	25.3
Kanchanaburi	86.0	45.9	40.1
Prachin Buri	84.8	59.4	25.4
Mukdahan	65.1	54.8	10.3
Sukhothai	95.2	68.0	27.2
Buri Ram	103.3	74.8	28.5
Kalasin	143.7	107.9	35.8
Maha Sarakham	87.2	70.6	16.6
Uthai Thani	118.0	90.1	27.9
Suphan Buri	78.1	56.9	21.3
Nakhon Ratchasima	98.7	71.1	27.6
Mean	95.1	69.6	25.6
SD	19.5	15.9	7.6

Table 5 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Provinces	Maximum yield (t.ra ⁻¹)	Minimum yield (t.ra ⁻¹)	Average yield (t.ra ⁻¹)	Standard deviation (t.ra ⁻¹)
Nakhon Sawan	40.1	23.9	32.5	8.7
Khon Kaen	33.4	9.7	20.6	4.3
Loei	19.3	5.5	11.3	4.3
Kanchanaburi	23.1	5.4	12.8	5.2
Prachin Buri	21.9	6.7	12.6	3.2
Mukdahan	21.7	10.6	15.0	5.2
Sukhothai	19.6	16.5	17.5	1.4
Buri Ram	16.7	15.7	16.0	0.4

Table 6 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of different cultivars for sugarcane production under irrigated condition areas during 2015-2017

Cultivars	Maximum yield (t.ra ⁻¹)	Minimum yield (t.ra ⁻¹)	Average yield (t.ra ⁻¹)	Standard deviation
KK07-037	40.1	6.7	18.2	10.1
95-2-213	34.6	6.3	17.6	9.0
K95-84	34.0	5.5	16.8	8.8

Table 7 Maximum yield, minimum yield, average yield, and standard deviation of different planting date for sugarcane production under irrigated condition areas during 2015-2017

Planting date	Maximum yield (t.ra ⁻¹)	Minimum yield (t.ra ⁻¹)	Average yield (t.ra ⁻¹)	Standard deviation (t.ra ⁻¹)
Nov. 2015-Dec. 2015	40.1	12.8	23.0	8.5
Jan. 2016-Feb. 2016	35.3	6.8	15.8	8.4
Mar. 2016-May 2016	32.7	5.5	13.8	8.2

สำหรับค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในระบบการผลิตตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน โดยเป็น green water footprint, blue water footprint และ grey water footprint เฉลี่ย 58.5 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ (Table 8) และมีความแปรปรวนสูงเช่นเดียวกัน

เนื่องมาจากความแปรปรวนของผลผลิตที่มีค่าสูง ความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศ ช่วงเวลาปลูกอ้อย และการใช้ปุ๋ยเคมี ทำให้มีค่า green water footprint, blue water footprint และ grey water footprint มีความแตกต่างกัน

Table 8 The water footprint of sugarcane for sugarcane production under irrigated condition in some major production areas in Thailand during 2015-2017

Province	Total WF (m ³ .t ⁻¹)	WF _{Green} (m ³ .t ⁻¹)	WF _{Blue} (m ³ .t ⁻¹)	WF _{Grey} (m ³ .t ⁻¹)
Nakhon Sawan	53.0	26.8	16.8	9.4
Khon Kaen	91.8	49.8	24.3	17.7
Loei	156.9	89.0	36.7	31.1
Kanchanaburi	120.6	39.9	52.2	28.5
Prachin Buri	172.3	81.3	57.0	33.9
Mukdahan	104.2	56.0	37.7	10.5
Sukhothai	102.0	60.6	23.1	18.3
Buri Ram	155.2	80.4	52.4	22.4
Mean	117.7	58.5	37.5	21.7
SD	57.5	30.9	18.8	13.5

ถึงแม้ว่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของอ้อยในสภาพการผลิตแบบอาศัยน้ำฝน มีค่าต่ำกว่าการผลิตแบบให้น้ำชลประทาน 22.6 ลบ.ม./ตัน แต่ผลผลิตของอ้อยทั้งสองระบบการผลิตไม่ได้เป็นปัจจัยที่จะบอกถึงค่าอวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ทั้งนี้เนื่องจากตลอดการผลิตอ้อยแบบการให้น้ำชลประทาน มีการให้น้ำตามความต้องการน้ำของอ้อยในปริมาณที่ค่อนข้างมาก คิดเป็น blue water footprint เฉลี่ย 37.5 ลบ.ม./ตัน แต่ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการปลูกแบบอาศัยน้ำฝนเพียง 1.4 ตัน/ไร่ อาจเป็นเพราะในช่วงปีที่ศึกษา มีปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อการรักษาระดับผลผลิตอ้อยในการปลูกสภาพอาศัยน้ำฝนไม่ให้ลดลงได้ หรืออ้อยที่ปลูกในสภาพอาศัยน้ำฝน สามารถทนการขาดน้ำได้โดยที่

ไม่ต้องการน้ำ ตามความต้องการน้ำของอ้อยสอดคล้องกับผลการทดลองของ ปรีชาและคณะ (2553) ที่พบว่า การให้น้ำในปริมาณร้อยละ 20 ของความต้องการน้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สามารถทำให้ผลผลิตแตกต่างจากการไม่ให้น้ำได้ แต่ผลผลิตไม่มีความแตกต่าง เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 60 แสดงว่า การให้น้ำเพียงร้อยละ 20 ของความต้องการน้ำของอ้อยเพียงพอต่อการรักษาระดับผลผลิตไม่ให้ลดลงได้ ขณะที่ กอบเกียรติและคณะ (2555) พบว่า อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุด 35 ตัน/ไร่ เมื่อให้น้ำเสริมร้อยละ 37.5 ของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์สูงสุดของดินภายในระดับความลึก 1 ม. และการศึกษาของ Jidapa *et al.* (2017) พบว่า

อ้อยพันธุ์ UT 12 และ UT 13 มีน้ำหนักแห้งเหนือดินลดลง เมื่อขาดน้ำในช่วงต้นของการเจริญเติบโต ส่วนพันธุ์ขอนแก่น 3 K KU99-02 และ K KU99-03 ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อให้น้ำที่ระดับความชื้นสนาม แสดงให้เห็นว่า การให้น้ำแก่อ้อยควรคำนึงถึงพันธุ์ที่ปลูก และปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับแต่ละพันธุ์ จะทำให้การใช้น้ำสำหรับการผลิตอ้อยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการทดลอง

ค่าอวอเตอร์พุดพริ้นท์ของอ้อยในสภาพอาศัยน้ำฝนจากแหล่งปลูกที่สำคัญเฉลี่ย 95.1 ลบ.ม./ตัน มีขนาดของ green water footprint และ grey water footprint 69.6 และ 25.6 ลบ.ม./ตันตามลำดับ และในสภาพให้น้ำชลประทานเฉลี่ย 117.7 ลบ.ม./ตัน มีขนาดของ green water footprint, blue water footprint และ grey water footprint 58.5, 37.5 และ 21.7 ลบ.ม./ตันตามลำดับ การปลูกแบบให้น้ำชลประทานมีค่า blue water footprint เพิ่มขึ้นจากการปลูกแบบอาศัยน้ำฝน 22.6 ลบ.ม./ตัน เนื่องจากต้องให้น้ำตามความต้องการน้ำของอ้อย ดังนั้น การพิจารณาการให้น้ำแก่อ้อยจึงต้องคำนึงถึงพันธุ์ การจัดการ และปริมาณน้ำที่เหมาะสม จะทำให้อ้อยใช้น้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์นักวิชาการและพนักงานของศูนย์ต่าง ๆ ดังนี้ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรบุรีรัมย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรมหาสารคาม ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรโนนสูง ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรกาญจนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุโขทัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรอุทัยธานี ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ และศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี ที่ได้อำนวยความสะดวกและช่วย

ดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตและผลผลิตอ้อยในแต่ละพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ ทักษิณา คันสยะวิชัย ศุภกาญจน์ ล้วนมณี ศรีสุดา ทิพย์รักษ์ เกษม ชูสอน จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง และชยันต์ ภัคดีไทย. 2555. ความต้องการน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3. ว. เกษตร. 40 (พิเศษ 3): 103-114.
- เจษฎา ภัทรเลพงษ์. 2553. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงด้วยแสงสุทธิและศักย์ของน้ำในใบอ้อยเพื่อหาค่าสอบเทียบแบบจำลองมวลชีวภาพของอ้อย. หน้า 58-95, ใน รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาอ้อยภายใต้แผนแม่บทโครงการสร้างพื้นฐานทางปัญญา โครงการระยะยาว ปี 2552: เล่มที่ 2 ด้านดิน น้ำและปุ๋ย. กรุงเทพฯ.
- นิรนาม. 2554. คำนวนพินใช้การ. คู่มือปฏิบัติงาน เล่มที่ 6/16. กรมชลประทาน. 27 หน้า.
- นิรนาม. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/60. กลุ่มวิชาการและสารสนเทศ อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สำนักงานนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย กรุงเทพฯ. 127 หน้า.
- นิรนาม. 2561. SDG6 การจัดการน้ำและสุขาภิบาล. แหล่งข้อมูล : <https://thailand.opendevlopmentmekong.net/th/topics/sdg-6-clean-water-and-sanitation> สืบค้น: 18 กรกฎาคม 2563.
- ปรีชา กาเพ็ชร ทักษิณา คันสยะวิชัย กาญจนากิระศักดิ์ และสุพัตรา คณานิตย์. 2553.

- การตอบสนองของอ้อย (*Sacharum officinarum* L.) พันธุ์ขอนแก่น 3 ต่ออัตรา การให้น้ำในปริมาณจำกัด. *ว.วิชาการ เกษตร.* 28 (3): 306-316.
- สานิตย์ดา เตียวต้อย ชลิตา สุวรรณ และ ธนัญชัยศ สมใจ. 2555. วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของอ้อย และมันสำปะหลังสำหรับการผลิตเอทานอลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย. *ว.สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.* 18 (1): 69-75.
- Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage.* Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 300 p.
- Chapagain A.K., A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije and R. Gautam. 2006. The Water Footprint of Cotton Consumption: an Assessment of the Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on the Water Resources in the Cotton Producing Countries. *Ecol. Econ.* 60: 186-203.
- Gerbens-Leenes P.W. and A.Y. Hoekstra. 2012. The Water Footprint of Sweeteners and Bio-ethanol. *Env. Inter.* 40 (2012) : 202-211.
- Hoekstra A.Y., A.K. Chapagain, M.M. Aldaya and M.M. Mekonnen. 2011. *The Water Footprint Manual Setting the Global Standard.* Earthscan Washington, DC. 228 p.
- Jidapa K., S. Patcharin and J. Nattawut. 2017. Growth and Physiological Patterns of Sugarcane Cultivars to Mimics Drought Conditions in Late Rainy Season System. *NUJST.* 25 (2): 102-112.
- Khanittha C., K. Supasit and D.C. Slack. 2017. Evaluation of the Water Footprint of Sugarcane in Eastern Thailand. *Eng. J.* 21(5): 193-201.
- Ratchayuda K. and S. Sate. 2012. Water Footprint of Bioethanol Production from Sugarcane in Thailand. *J. Env. Earth Sci.* 2(11) : 61-68.
- Rattikarn K. and S. Sate. 2012. The Water Footprint of Sugarcane and Cassava in Northern Thailand. *Procedia-Social and Behavioral Sci.* 40 (2012): 451-460.